

The Application of X-Ray Fluorescence Logging in Defining Salt Boundary in Keshen Block

Hai Wang¹, Wei Zhang², Lei Tian¹, Junping Tan¹, Haoping Li¹

¹Exploratiion Division of Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla Xinjiang

²Kuqa Oil and Gas Development Division of Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla Xinjiang

Email: whai-tlm@cnpc.com.cn

Received: Mar. 13th, 2017; accepted: Jul. 8th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

In Palaeogene Kumugeliemu Group in Kuqa Depression of Tarim Oilfield, there developed a gypsum salt rock formation. The key for safe drilling of oil and gas layer there was to identify salt bottom accurately and seal this section with high pressure coefficient. The X-ray fluorescence logging technique is used to identify the element marker layer and is beneficial for stratigraphic correlation, and distinguishing the mudstone at the bottom of the salt layer and between the salt. The method solves the problem for identification of salt on the bottom, ensues the realization of target zone drilling.

Keywords

X-Ray Fluorescence Logging, Salt Formation, Identification of Salt Layer, Element Marker Layer

X射线荧光录井技术在克深区块盐底界面的卡层应用

王海¹, 张玮², 田磊¹, 谭俊平¹, 李浩平¹

¹中石油塔里木油田分公司勘探事业部, 新疆 库尔勒

²中石油塔里木油田分公司库车油气开发部, 新疆 库尔勒

作者简介: 王海(1976-), 男, 硕士, 高级工程师, 现主要从事油气地质评价与勘探。

Email: whai-tlm@cnpc.com.cn

收稿日期: 2017年3月13日; 录用日期: 2017年7月8日; 发布日期: 2017年8月15日

摘要

塔里木油田库车坳陷古近系库姆格列木群发育着巨厚的膏盐岩层, 准确的卡取盐底界面, 下入技术套管, 封隔该段具有高压系数地层, 是安全钻开油气层的关键。利用X射线荧光录井技术确定元素标志层, 利于地层对比区分盐底泥岩与盐间泥岩, 解决了盐底界面卡取困难的问题, 确保钻探目的的实现。

关键词

X射线荧光录井, 膏盐岩地层, 盐底卡层, 元素标志层

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

克深区块位于塔里木盆地库车坳陷的克拉苏构造带上, 目的层白垩系蕴藏着丰富的天然气资源。其上部古近系库姆格列木群(E₁₋₂km)发育着巨厚的膏盐岩, 为油藏提供了优质盖层, 是形成大型超高压气藏的关键因素之一。而超深、超厚的膏盐层与下覆地层(目的层)存在着相差巨大的压力系统, 给钻井工程带来巨大的施工风险。为了确保钻井施工安全, 目前在库车坳陷山前井的膏盐岩地层主要采用油基钻井液钻进, 保持井壁稳定, 并用技术套管封住膏盐岩层。如果未钻穿, 提前下入套管, 造成目的层小井眼钻进, 难以达到钻探目的; 而在钻穿膏盐岩层后, 又极易发生井漏和卡钻事故, 因此卡准盐底界面成为确保钻井正常施工的关键。

常规的卡层方法是通过肉眼观察岩屑, 结合综合录井仪器采集工程参数(如钻时、扭矩、钻压等资料)来判断是否钻穿膏盐岩[1]。随着钻井工艺的发展, 如PDC钻头的应用, 钻时快慢的差异变得不明显; 由井底返出的岩屑也十分细碎, 使得岩屑录井对岩性难以识别, 也不利于地层对比, 因此卡取盐底界面仍然很困难。笔者利用X射线元素录井技术分析岩屑中的Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ba、Ti、Mn、Fe、V、Ni、Sr、Zr等17种元素含量, 对获取的数据进行分析研究, 可以识别岩性及盐底卡层; 并

提出了一套现场操作性强的盐底卡层的方法, 使用该方法极大地提高了盐底卡层的成功率, 保障区内膏盐岩地层安全快速钻进。

2. X 射线荧光录井技术

X 射线荧光录井技术(XRF)利用 X 射线录井仪来检测和分析岩屑中的元素的种类和含量。该项技术是在 X 射线荧光分析原理与岩石地球化学理论上发展而来。目前, 塔里木油田采用的是 HB-X100 型 X 射线录井仪, 它具有分析速度快、工作稳定、仪器体积小、对岩屑需求量小、岩屑样品粒度要求低等优点, 非常适合用于现场岩性识别和卡层。

3. 元素录井识别岩性

E₁₋₂km 主要岩性为泥岩、石膏岩、盐岩、白云岩、灰岩等。目前, 岩性的识别主要是通过肉眼观察来定名、受制于岩屑客观条件和录井队的鉴定水平, X 射线荧光录井技术则是一种全新的, 定量化识别岩性的技术手段, 能够解决岩屑细碎、人为主观因素等造成的岩性识别困难。

众所周知, 元素是构成所有岩石最基本的化学单元, 不同类型的岩石具有不同的元素组成, X 射线荧光录井技术就是通过元素地球化学成分分析进行岩性识别。砂岩的主要成分是 SiO₂, 因此 Si 元素在砂岩中富集; Al、Fe 等元素的含量在富含黏土矿物的泥岩中很高; 纯石灰岩的化学成分为 CaCO₃, Ca 元素在灰岩中富集; 纯白云岩(白云石)的化学成分为 MgCa(CO₃)₂, Mg、Ca 在白云岩中富集; 石膏岩的主要化学成分为 CaSO₄, 石膏岩中富集 Ca、S 元素; 盐岩的主要化学成分为 NaCl, 盐岩中富集 Na、Cl 元素。利用上述富集规律并通过图谱法、数值法、曲线法、XRF 分析数据处理法、曲线交会法等岩性解释方法[2], 可以准确地地区分岩性(图 1)。总而言之, 通过现场使用证明元素录井解释岩性是一种有效岩性识别方法。

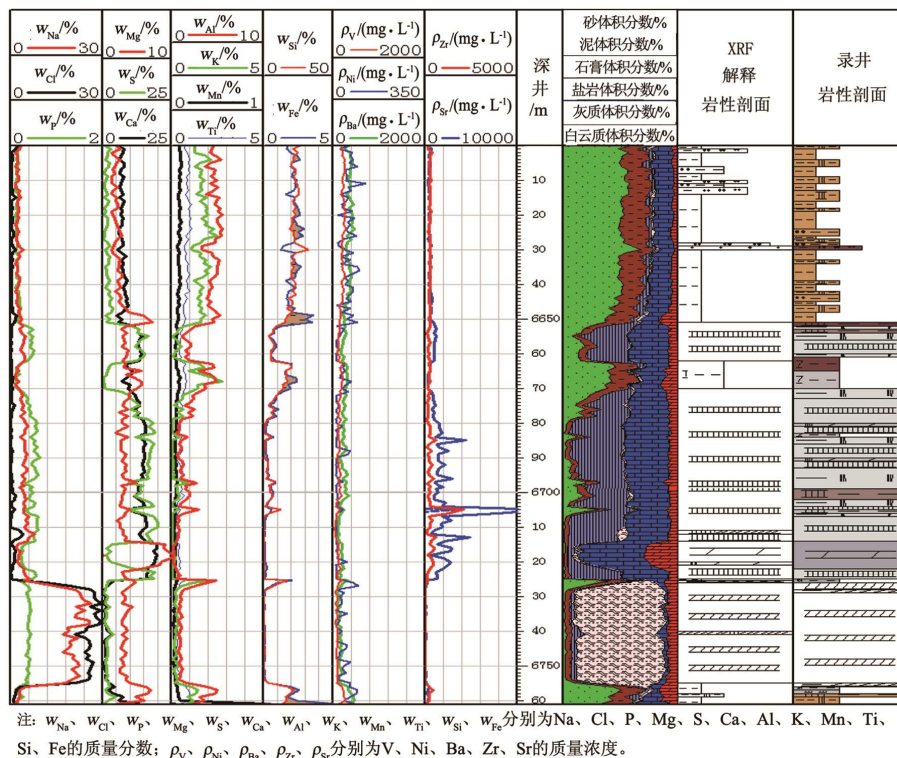


Figure 1. The sectional view of lithologic interpretation of X-ray fluorescence logging

图 1. X 射线荧光录井岩性解释剖面图

4. 盐底界面的卡取

库车拗陷经历了多期的构造运动,膏盐岩层受挤压变形严重,纵向和横向都难以对比,无法准确地预测盐底深度。通过 X 射线荧光元素录井技术分析发现盐底卡层并不是无迹可循,可以利用元素标志层进行地层对比,确定是否进入最后一套膏盐岩层,并通过盐底泥岩与盐间泥岩的区别来准确地卡取盐底界面。

4.1. 元素标志层

通过对克深区块多口井分析发现, Sr 质量浓度会出现一个异常高值段(图 2),预示着该段为最后一套膏盐岩层,即接近盐底。Sr 的 X 射线荧光录井的异常高值是海侵的一个重要特征[3]。库车盆地古近纪早期发生过一次较明显的海侵[4],气候持续的干燥炎热, Sr 通过生物化学作用沉淀下来。Sr 对沉积环境具有重要的指示意义,笔者利用 Sr 质量浓度的异常高值段作为标志层,在地层对比中也起着至关重要的作用。

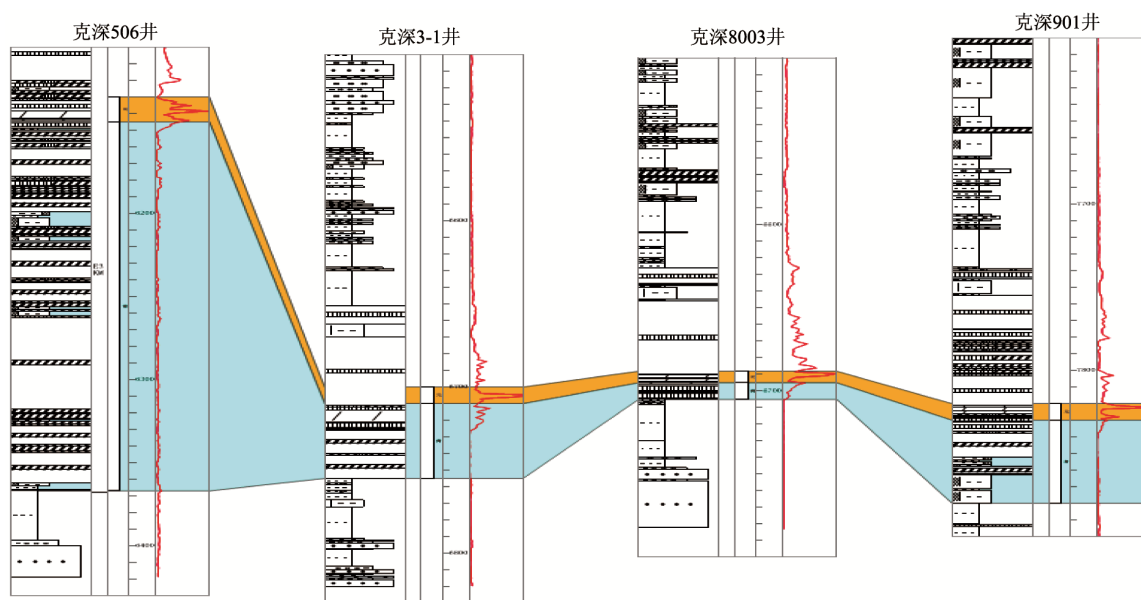


Figure 2. The diagram of formation contrast in the studied area
图 2. 研究区地层对比图

4.2. 盐底泥岩与盐间泥岩对比分析

标志层下的膏盐岩厚度分布不均,井与井之间差别巨大,准确地识别盐底的褐色泥岩和盐间的褐色泥岩是卡层的另一关键点。

岩石中各种所含矿物多以单质矿物、氧化物和氢氧化物等形态存在,如组成泥岩的黏土矿物主要以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 等为主[5],而这些化合物又以 Al、Fe、Si 等为主要元素。为了便于对比盐间泥岩与盐底泥岩,对克深区块的 8 口井,分析了 Na、Mg、Al、Si、S、Cl、K、Ca、Fe 共 9 种主要元素(表 1)。

通过表 1 可以看出, Mg、Cl 元素的平均质量分数在盐间泥岩与盐底泥岩中差异具有一定的规律。盐间泥岩 Mg 平均质量分数在 2.26%~3.92% 之间,盐底泥岩 Mg 平均质量分数在 4.34%~7.20% 之间,盐底泥岩的 Mg 平均质量分数高于盐间泥岩。盐底泥岩 Cl 平均质量分数在 2.01%~4.98% 之间,盐底泥岩 Cl 平均质量分数在 0.43%~1.81% 之间,盐底泥岩的 Cl 平均含量低于盐间泥岩。而 Na、Al、Si、S、K、Ca、Fe 几种元素的平均平均质量分数在盐间泥岩与盐底泥岩中差异不大。

Table 1. The average mass fractions of major elements in the salt interbed and salt on the bottom layer in Keshen Block
表 1. 克深区块盐间泥岩与盐底泥岩的主要元素平均质量分数

井名	岩性	$w_{Na}/\%$	$w_{Mg}/\%$	$w_{Al}/\%$	$w_{Si}/\%$	$w_S/\%$	$w_{Cl}/\%$	$w_K/\%$	$w_{Ca}/\%$	$w_{Fe}/\%$
克深 3-1	盐间泥岩	3.02	2.29	4.54	20.90	1.37	4.98	1.65	6.46	2.23
	盐底泥岩	3.48	4.34	4.29	18.93	1.90	1.07	1.26	4.11	2.28
克深 8-1	盐间泥岩	2.12	2.35	4.74	18.63	0.75	3.32	1.93	7.34	2.52
	盐底泥岩	1.75	4.66	5.32	20.61	0.52	1.81	2.55	6.94	3.02
克深 8004	盐间泥岩	2.18	2.64	4.79	21.14	1.56	2.23	1.94	7.51	2.41
	盐底泥岩	2.46	5.26	2.86	11.95	1.92	0.86	1.05	10.07	1.23
克深 2-2-1	盐间泥岩	2.60	3.20	5.78	21.27	1.48	5.02	2.24	6.21	3.14
	盐底泥岩	1.51	5.20	5.20	23.66	1.53	1.63	2.50	7.94	3.27
克深 106	盐间泥岩	1.79	2.55	4.19	18.94	1.13	2.19	1.74	8.32	2.18
	盐底泥岩	1.94	5.48	4.44	19.98	2.13	0.69	1.62	5.29	2.47
克深 802	盐间泥岩	2.27	2.30	4.94	19.68	1.42	2.87	2.53	6.05	3.34
	盐底泥岩	2.05	4.76	5.09	20.88	1.05	0.73	2.58	8.57	2.66
克深 2-2-12	盐间泥岩	2.65	3.92	4.40	18.65	1.99	2.01	1.89	7.74	2.58
	盐底泥岩	1.91	7.20	3.83	16.05	1.41	0.43	1.40	9.35	2.30
克深 2-2-14	盐间泥岩	4.02	2.76	4.75	20.33	1.83	2.17	1.72	6.66	2.23
	盐底泥岩	2.46	5.26	3.10	13.57	2.27	0.48	1.09	7.48	3.21

利用盐间与盐底泥岩元素含量差异开发出了三角图版(图 3)和交会图版(图 4)。图中蓝色代表盐间泥岩, 粉红色代表盐底泥岩。通过图版法可以更直观地判断是否是盐底泥岩。

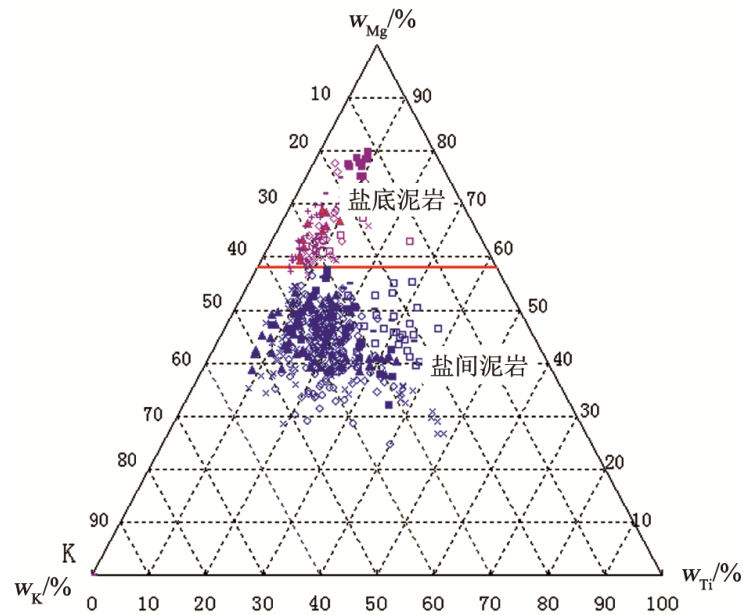


Figure 3. The tran-angular chart board of mudstone elements between the salt interbed and salt on the bottom

图 3. 盐间与盐底泥岩元素三角图版

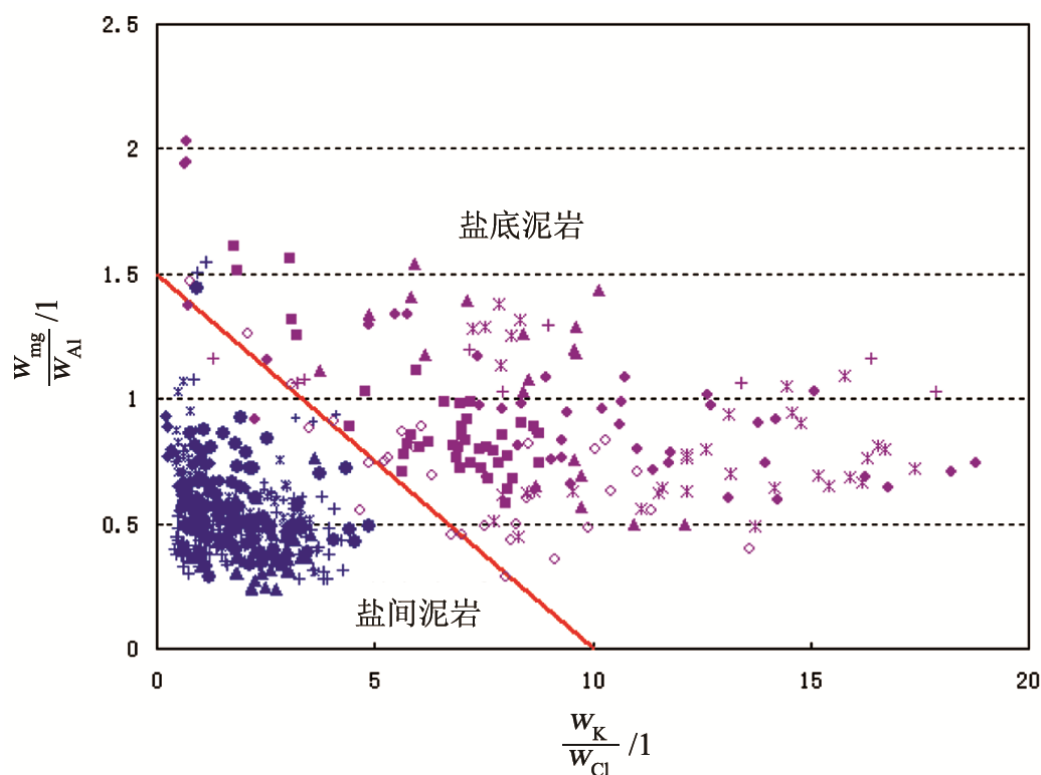


Figure 4. The cross-plot of mudstone elements between salt interbed and salt on the bottom

图 4. 盐间与盐底泥岩元素交会图版

5. 应用实例

克深 504 井卡层分析:

1) 井深 6347 m, ρ_{Sr} 为 14067 mg/L; 6348 m, ρ_{Sr} 达到 13504 mg/L (图 5)。 ρ_{Sr} 异常高值是一个元素标志层, 预示着接近盐底, 钻穿盐岩段见泥岩可能为盐底泥岩。

2) 钻进至井深 6405 m 时, 岩屑见少量褐色泥岩, 元素录井分析 w_{Cl} 为 9.75%, w_{Mg} 为 2.31% (表 2), 且泥岩中的盐质成分较多(图 5), 不符合盐底泥岩特征。

3) 现场录井认为该段见褐色泥岩, 且岩性组合关系与邻井一致, 认为该段为盐底褐色泥岩, 决定在井深 6419 m (图 5 中红线) 中完下套管作业。元素录井认为本段无盐底泥岩特征, 下部地层可能有盐岩, 建议继续钻进。

4) 钻进至井深 6421 m, 岩屑中 w_{Cl} 上升至 15.13%; 6421~6435 m, w_{Cl} 为 8.86%~15.85%, 岩性主要为盐岩。

5) 钻进至井深 6436 m 时, w_{Cl} 下降至 0.55%, w_{Mg} 上升至 3.79% (表 2), 岩性为泥岩, 元素录井认为 6436 m 符合盐底泥岩特征。

6) 图版验证, 6138~6212 m 段中的泥岩(蓝色)落入三角图版和交会图版中的盐间泥岩区域, 6405~6416 m (黄色)也落入三角图版和交会图版中的盐间泥岩区域, 6436~6445 m (粉红色)落入三角图版和交会图版中的盐底泥岩区域(图 6、图 7)。

综合以上的特征, 判断已经进入盐底泥岩。通过下步钻进证实盐底界面卡取准确, 确保了钻井施工正常进行。

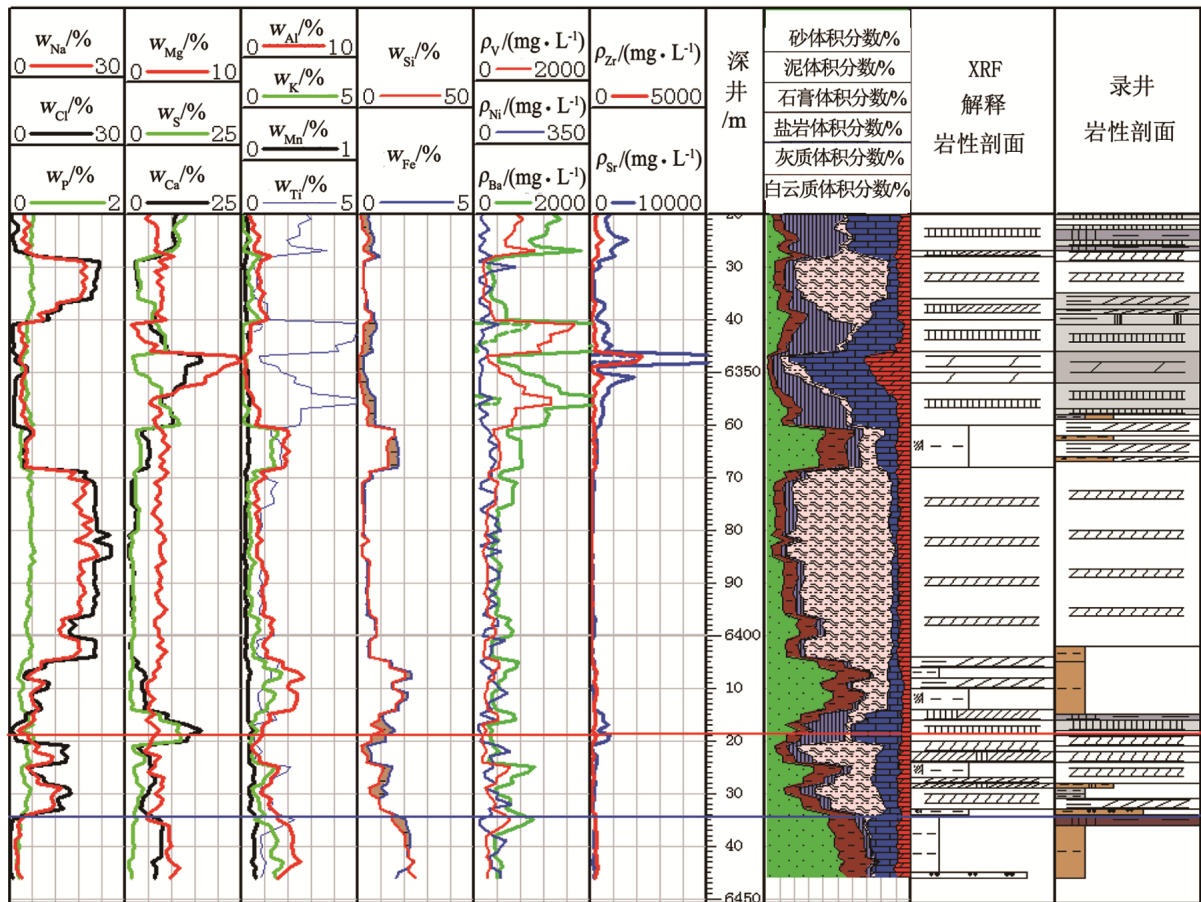


Figure 5. The sectional view of lithologic interpretation of X-ray fluorescence logging

图 5. X 射线荧光录井岩性解释剖面图

Table 2. The data of Mg and Cl element mass fraction in Well Keshen 504

表 2. 克深 504 井 Mg、Cl 元素质量分数数据表

盐间泥岩			盐底泥岩		
井深/m	$w_{Mg}/\%$	$w_{Cl}/\%$	井深/m	$w_{Mg}/\%$	$w_{Cl}/\%$
6405	2.31	9.75	6436	3.79	0.55
6406	2.26	9.42	6438	3.71	0.42
6407	2.36	4.07	6439	3.74	0.38
6408	2.46	3.84	6440	3.93	0.41
6409	1.83	10.17	6441	3.52	0.26
6410	1.81	9.93	6442	3.68	0.26
6411	1.99	5.91	6443	3.82	0.31
6412	2.49	5.93	6444	4.68	0.33
6413	2.11	7.84	6445	4.31	0.35
6414	1.96	8.24			
6415	2.58	4.14			
6416	1.74	4.09			

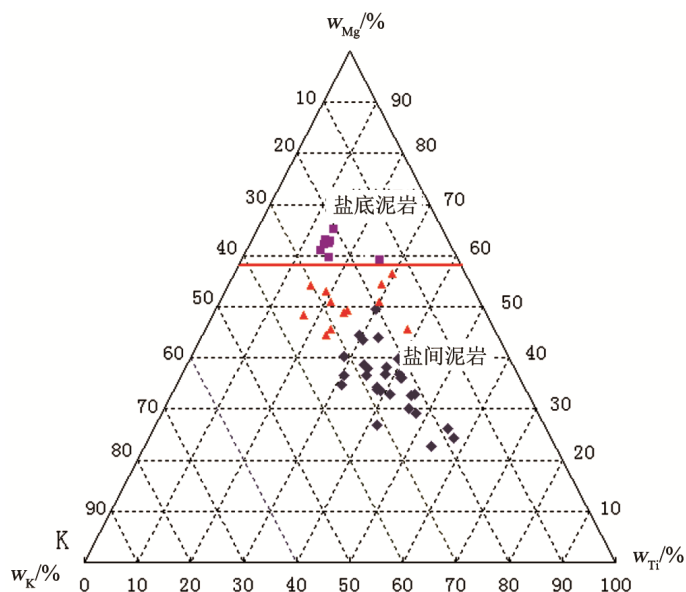


Figure 6. The tranangular chart board of mudstone elements between salt interbed and salt on the bottom in Well Keshen 504
图 6. 克深 504 井盐间与盐底泥岩元素三角图版

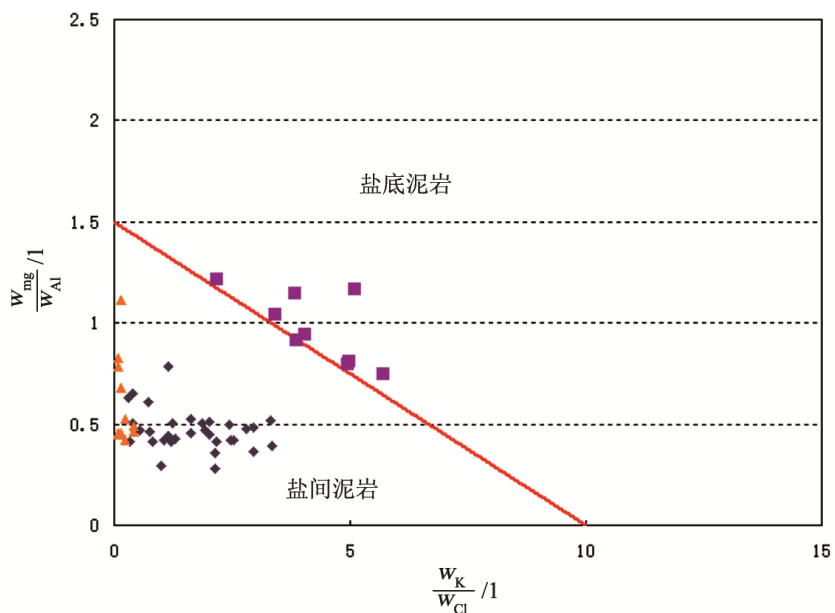


Figure 7. The cross-plot of mudstone elements between salt interbed and salt on the bottom in Well Keshen 504
图 7. 克深 504 井盐间与盐底泥岩元素交会图版

6. 结论

- 1) X 射线荧光录井技术通过元素地球化学成分分析识别岩性，为岩性定名提供依据。
- 2) 元素录井分析出的微量元素的异常高值符合成岩时期的沉积环境，可作为元素标志层，利于井间横向对比。
- 3) 利用元素定量化分析，区分盐间泥岩与盐底泥岩，并建立相应图版，准确地卡取盐底界面。

参考文献 (References)

- [1] 熊正祥, 谭超, 李丽英, 等. 库车坳陷膏盐岩地层顶底界面的卡取方法[J]. 录井工程, 2014, 25(1): 80-83.
- [2] 谢元军, 邱田民, 李琴, 等. X 射线荧光元素录井技术应用方法研究[J]. 录井工程, 2011, 22(3): 22-28.
- [3] 熊小辉, 肖加飞. 沉积环境的地球化学示踪[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 405-413.
- [4] 刘景彦, 王清华, 林畅松, 等. 库车坳陷西部古近系库姆格列木群层序 - 体系域[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(6): 651-656.
- [5] A.H. 别列雷曼. 地球的化学成分[M]. 北京: 地质出版社, 1981.

[编辑] 邓磊

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org